

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA AUTOMÁTICO PARA POSICIONAMENTO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Diego Luiz Monteiro Costa¹, Luiz Carlos Gomes de Freitas¹, Gustavo Brito de Lima²,
Danillo Borges Rodrigues²

¹Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica, Uberlândia – MG

²Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Instituto de Ciências e Tecnológicas e Exatas, Uberaba – MG,
diegoluzmonteiro@gmail.com, lcgfreitas@yahoo.com.br, gustavo.brito.28@gmail.com, danillorodrigues@yahoo.com.br

Resumo - Esse artigo relata uma das técnicas de aprimoramento na geração de energia elétrica a partir dos sistemas fotovoltaicos, com a inserção de componentes móveis em sua estrutura no intuito melhorar a captação dos raios solares pelo painel. Esse aprimoramento foi feito com o uso de uma estrutura mecânica que possibilitou a movimentação do sistema buscando a posição do sol que resulta em um máximo aproveitamento energético. A estrutura é composta por um motor CC acoplado a uma base giratória, controlada por um DSP (*Digital Signal Processing*), modelo TMS320F28335, com base nos sinais gerados por apenas um sensor de luminosidade (LDR). A escolha do DSP para a parte lógica do sistema se deu pelo motivo que o dispositivo funciona de maneira eficiente no processamento das informações dos painéis fotovoltaicos, onde, realizaria a busca pela máxima potência fornecida pelo painel a partir da técnica de Maximum Power Point Tracker (MPPT) de varredura da curva de potência versus corrente. O DSP também responderia de maneira desejável no controle do sistema seguidor solar.

Palavras-Chave – DSP, Estrutura Metálica, LDR, Motor CC.

DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR AUTOMATIC POSITIONING PHOTOVOLTAIC PANELS

Abstract - This article describes one of enhancement techniques in the generation of electricity from photovoltaic systems, with the inclusion of moving parts in its structure in order to improve the capture of sunlight by the panel. This enhancement was made with the use of a mechanical structure which allowed the drive system seeking the sun position which results in a maximum energy harnessing. The structure is composed of a DC motor coupled to a rotating base controlled by a DSP (*Digital Signal Processing*), TMS320F28335 model, based on signals generated by a single light sensor (LDR). The choice of the DSP for the logic of the system is given the reason that the device operates efficiently in processing information of photovoltaic panels, where would realize the search for the maximum power supplied by the panel

from the technical Maximum Power Point Tracker (MPPT) scan power curve versus current. The DSP also responds desirably in control of the solar tracker system.

Keywords – DC motor, DSP, LDR, Solar Tracking.

I. INTRODUÇÃO

A transformação da energia proveniente da radiação solar em energia elétrica se encontra bem abaixo da eficiência ideal. Os tipos de módulos mais utilizados para composição dos painéis fotovoltaicos são os monocristalinos e os policristalinos. A conversão mais eficiente de energia solar em energia elétrica se dá a partir dos módulos monocristalinos, porém, sua construção ainda é mais complexa, rigorosa e cara [4].

Nas atuais condições de desenvolvimento da tecnologia a utilização de sistemas fotovoltaicos com rastreamento solar é uma ótima solução para o aumento na eficiência e redução nos custos [1]. Estes sistemas, conhecidos como *Solar Tracking*, procuram colocar os painéis solares com a superfície perpendicularmente aos raios solares. Dessa maneira, as mudanças na posição do sol em relação à Terra durante o dia serão compensadas com o reposicionamento do módulo, permitindo que mais energia seja coletada e transformada em eletricidade dentro de um determinado intervalo de tempo [2].

Os sistemas de posicionamento automático vêm demonstrando um crescimento significativo nos últimos anos em relação aos sistemas fixos. Esse aumento, ainda que discreto, a longo prazo acaba tornando o sistema mais atrativo em comparação com o sistema fixo usual [5].

Os seguidores solares podem ser obtidos a partir do estudo do comportamento da movimentação do sol, declividade do terreno, estação do ano, entre outros fatores. Uma maneira que muitos pesquisadores dessa área encontraram foi o uso de arranjos de sensores ópticos para que estes determinem de forma automática a posição do sol, possibilitando o posicionamento dos painéis na sua direção perpendicular.

Os seguidores solares podem ser do tipo ativo, acionados por motores elétricos em conjunto com engrenagens ou polias, ou ainda do tipo passivo, quando o conjunto que impulsiona o sistema de captação da energia solar é feito por algum tipo de fluido. Eles também podem ser caracterizados pela quantidade de eixos, onde se pode utilizar um eixo com orientação norte



sul ou leste oeste; ou ainda pode se utilizar dois eixos de movimentação, onde se utiliza um eixo com movimentação vertical para posicionar os painéis de acordo com a superfície de instalação e outro eixo com movimentação horizontal para posicionar o sistema com a posição perpendicular com a radiação solar [3].

A maioria dos seguidores solares ativos é controlada por circuitos eletrônicos a partir de uma lógica computacional juntamente com o uso de sensores ópticos, que possibilitam um correto posicionamento de painéis na direção perpendicular à radiação solar. Tendo em vista o relativo baixo custo e alta confiabilidade dos micro-controladores, os sistemas de seguidores solares tiveram seu custo reduzidos possibilitando maiores investimentos em suas tecnologias.

Na maioria das aplicações dos sistemas de seguidores solar o posicionamento do conjunto de conversão de energia é baseado em sensores óticos como foto transistor, fotodiodo, LDR (resistores dependentes de luz) e células fotovoltaicas. Os sensores óticos normalmente são usados em pares, onde um obstáculo é posto entre os dois. Assim, quando houver diferença de luminosidade entre eles, o sistema de controle atuará acionando o motor de movimentação de azimute para que os painéis fotovoltaicos se posicionem para receber os raios perpendicularmente [3].

Nesse contexto, esse trabalho foi desenvolvido utilizando uma estrutura mecânica que permite acoplar um módulo fotovoltaico para acompanhar o movimento aparente do sol (movimentação leste-oeste) a partir das informações extraídas de um sensor LDR. A estratégia de controle embarcada em DSP permitiu posicionar um módulo fotovoltaico na posição perpendicular em relação ao sol, garantido máxima exposição à radiação solar.

Para fins comparativos, os resultados da potência gerada por esse sistema dinâmico foram comparados com um módulo fixo, sendo este tradicionalmente utilizado na geração de energia elétrica.

A análise entre os dois tipos de sistema irá demonstrar de forma quantitativa o quanto o sistema dinâmico é mais eficiente na geração de energia quando comparado ao sistema fixo.

II. DESENVOLVIMENTO DAS PARTES MECÂNICAS DO SISTEMA

A construção da parte mecânica do sistema foi dividida em três etapas: construção de um suporte para o módulo fotovoltaico, de uma haste que possibilitasse a movimentação do módulo durante todo o ciclo diário e de um sistema de engrenagens para possibilitar o movimento do painel a partir do motor de corrente contínua.

A. Suporte para o módulo fotovoltaico

O suporte foi construído nas mesmas dimensões do módulo fotovoltaico, permitindo o contato em todas as suas extremidades, evitando que o módulo deslizasse do suporte. O suporte construído é evidenciado na Figura 1.

B. Haste para Elevação e Deslocamento do Sistema

Após a construção do suporte para o módulo a próxima etapa foi o projeto para a construção de uma haste que elevasse o painel a uma determinada altura em relação ao solo. A

necessidade de elevar o painel a uma altura que fosse possível o movimento de rotação do painel e também possibilitasse o deslocamento do sistema para locais onde fosse possível fazer o acionamento do sistema a haste construída é mostrada na Figura 1.

C. Sistema de Engrenagens

O sistema de engrenagem foi responsável pela interface entre o motor e o suporte do painel, sendo composto por: uma engrenagem conectada ao suporte do painel, uma engrenagem conectada ao eixo do motor e uma corrente de ligação.

Foi utilizado um sistema de engrenagens para reduzir a velocidade de rotação do suporte do painel e reduzir o torque requerido no eixo do motor.

O sistema mecânico final é demonstrado na Figura 1.



Fig. 1. Sistema mecânico final construído.

III. DESENVOLVIMENTO DAS PARTES ELETRÔNICAS DO SISTEMA

O sistema eletrônico é composto por um conversor CC, responsável por extrair a máxima potência do módulo fotovoltaico; por um sistema de engrenagens e motor CC, responsável pela movimentação angular da superfície da estrutura de suporte do módulo; por sensores de luminosidade do tipo LDR, responsável pela lógica de rastreamento da incidência luminosa perpendicular ao plano do módulo; pelo driver do motor utilizando uma ponte H, responsável pelo acionamento do motor nos sentidos horário e anti-horário e por um sistema de controle central utilizando o DSP TMS320F28335, no qual é responsável pela lógica de acionamento do motor e do MPPT do painel.

A. Rastreamento da máxima Irradiação Solar (RMIS)

O sensor LDR foi envolvido com um cilindro de alumínio no intuito de deixá-lo sob sombreamento sempre que o painel estiver em uma posição diferente da perpendicular com relação ao sol. Nesta condição, o motor é acionado de tal forma a tornar o painel na posição perpendicular com relação ao sol.

O rastreamento teve como princípio a utilização do sensor, onde, o mesmo permanecia na sombra por conta de um

componente que encapsularia o sensor LDR, no intuito de deixá-lo na sombra, quando alguma fonte de luz estivesse incidindo sobre o painel e que permitisse a incidência total de luz sobre o sensor, quando a fonte luminosa estivesse totalmente perpendicular ao sensor e conseqüentemente ao painel.

A técnica escolhida, também contou com um potenciômetro inserido no sistema que possibilitou medir de maneira indireta cada posição do painel no intervalo de movimentação, e assim, o sistema realizaria uma varredura dentro de todo intervalo que o painel se movimentasse possibilitando o armazenamento de cada valor de tensão, captado pelo sensor LDR e pelo potenciômetro.

Esse potenciômetro foi acoplado junto ao eixo do motor para que todos os seus movimentos e conseqüentemente o painel realizassem fossem registrados a partir de variações de tensão emitidas pelo potenciômetro.

Para cada valor de tensão armazenado pelo sensor LDR o potenciômetro também armazenava um valor de tensão referente ao deslocamento de sua resistência. A partir dessa rotina, independente de qual posição o painel iniciasse sua varredura dentro do intervalo de movimentação, ele iria buscar a posição inicial especificada a partir de um valor de tensão do potenciômetro e assim, realizaria sua movimentação até a posição final de tensão.

Toda vez que essa varredura era realizada, o microcontrolador buscava entre os valores de tensão armazenados pelo sensor LDR o menor valor, pois, este seria o valor onde indicaria a posição perpendicular do painel em relação à radiação solar.

Como o sistema armazenava todos os intervalos de tensão do sensor e do potenciômetro, assim que o microcontrolador encontrava o menor valor de tensão do LDR, também encontrava o valor de tensão do potenciômetro correspondente, pois, os dois valores eram medidos no mesmo instante durante o funcionamento do sistema. Desta forma, assim que os dois valores eram selecionados, o microcontrolador acionava a movimentação do sistema até que o painel se encontrasse no valor de tensão do potenciômetro selecionado, permitindo que o painel permanecesse na posição perpendicular da luz solar. O protótipo final construído para o sistema em operação é demonstrado na Figura 2.



Fig. 2. Protótipo final do sistema seguidor solar.

B. Circuito de acionamento do Motor

Para que se fosse possível que o motor girasse tanto no sentido horário quanto no sentido anti-horário foi empregado o uso do circuito conhecido como Ponte H. Esse circuito é conhecido por esse nome por seu esquemático se parecer com o “desenho” da letra “H”, onde, o mesmo é constituído por quatro chaves que são controladas por um micro controlador e uma fonte de alimentação. Os dispositivos utilizados como chaves no projeto foram os MOSFET’s.

Para que fosse possível amenizar os efeitos das altas temperaturas nos MOSFET’s, causada pela elevação da temperatura da corrente do circuito, foi utilizado um dissipador de calor conectado neles, para mantê-los numa temperatura estável, evitando sua queima.

A ponte H realiza a interface entre o DSP e motor, tornando possível seu acionamento tanto no sentido horário quanto no sentido anti-horário.

C. Rastreamento da Máxima Potência (MPPT)

O método utilizado para a extração de máxima potência (MPPT) do painel foi à técnica de varredura da curva de potência versus tensão. Essa técnica tem seu funcionamento estabelecido da seguinte maneira: ao se acionar o sistema, o seguidor solar move o painel para posição perpendicular em relação à radiação solar incidente. Neste ponto a técnica de varredura para a extração de máxima potência do módulo realiza uma comparação de todos os pontos obtidos na curva de potência versus tensão, buscando o valor de tensão que resulta no maior valor de potência. A Figura 3 mostra a curva obtida após uma das varreduras feitas pelo sistema.

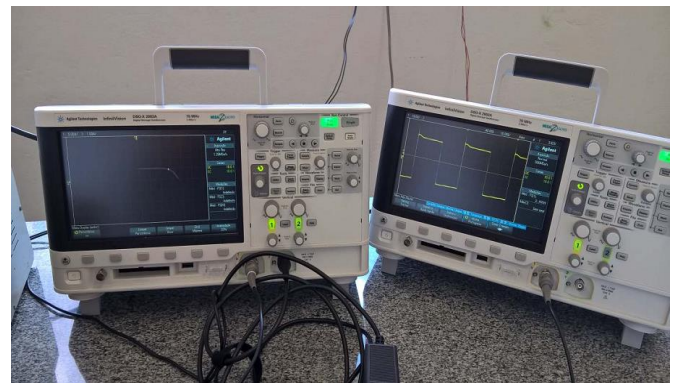


Fig. 3. Varredura para extração de máxima potência do painel.

O conversor utilizado para o sistema de extração de energia foi o conversor Boost. Este conversor é normalmente utilizado nesse tipo de aplicação por possuir alto grau de eficiência na captação de potência, baixo custo e por ser um componente relativamente simples na sua montagem. A Figura 4 informa o conversor utilizado no trabalho.

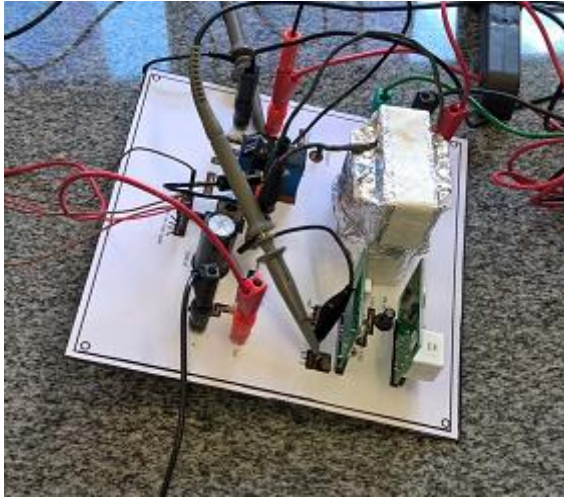


Fig. 4. Conversor Boost utilizado.

D. Interface Homem Máquina (IHM)

A plataforma do Code Composer não é apenas uma ferramenta que possibilita a comunicação entre software e hardware, mas também possui várias extensões na área da programação, desde simples comandos de execução de tarefas até o desenvolvimento de interfaces gráficas que possibilitam o acionamento, interrupção e visualização de variáveis estratégicas no decorrer do funcionamento do sistema.

Com esta ferramenta foi possível o desenvolvimento de uma interface gráfica interativa com o usuário onde era possível verificar em tempo real todas as informações relevantes durante a operação do sistema. A partir dessa interface foi possível acionar e desligar o sistema, além de permitir visualizar se as tomadas de decisões estavam sendo realizadas de maneira correta. A Figura 5 ilustra a interface gráfica



Fig. 5. Interface criada para o sistema.

IV. RESULTADOS

Nesta seção serão apresentados os resultados comparativos da energia extraída a partir de um módulo fotovoltaico operando de forma estática e dinâmica, utilizando o sistema de seguidor solar.

A. Resultados do Seguidor Solar

Utilizando o seguidor solar foram extraídos os resultados resumidos na Tabela I a seguir.

Tabela I – Resultado da geração de energia referente ao método seguidor solar.

Posição do potenciômetro (V)	Potência gerada (W)
1,22	19,4

Assim que realizados os testes para comprovação do método utilizado da geração de energia elétrica ficou evidenciado que independentemente inclinação da base a potência gerada pelo módulo fotovoltaico sempre seria 19,4W. Isso aconteceu porque o sistema seguidor solar corrige a inclinação da base posicionando o painel sempre na posição perpendicular ao sol.

B. Resultados do Painel Fixo

Os testes referentes à geração de energia no método convencional consistiram em posicionar o módulo fotovoltaico em uma posição fixa de acordo com a posição onde ele seria instalado caso estivesse em uma residência.

Como o módulo deveria estar em uma posição fixa durante todo o processo de geração de energia elétrica, ele foi posicionado em vários ângulos de forma a emular o movimento de translação do sol durante o dia.

Os resultados referentes a esse método podem ser demonstrados na Tabela II.

Tabela II – Resultado referente à geração de energia com a utilização do método convencional.

Posição do Potenciômetro (V)	Potência Gerada (W)
2,7	16,90
2,53	17,35
1,9	18,22
1,39	17,35
0,56	13,45

C. Comparação entre os dois métodos

Comparando os dois métodos estudados e analisando as Tabelas I e II, fica evidenciado que nem mesmo o maior valor do método convencional ultrapassaria a potência gerada pelo painel na estrutura do seguidor solar. Porém, para que a análise seja feita de uma maneira mais concreta e plausível para os dois métodos, foi feita uma análise fazendo a média das potências geradas no método convencional, como é mostrado na tabela III.

Tabela III – Comparação entre as potências geradas nos dois métodos

Potência gerada no seguidor solar (W)	Média das potências geradas no método convencional (W)
19,4	16,65

Fazendo uma comparação entre os dois resultados da Tabela III, percebe-se que o seguidor solar consegue ser 16,48% mais eficiente na geração de energia elétrica do que o método convencional.

V. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos evidenciaram que a geração de energia no sistema fixo é fortemente dependente da inclinação

do painel. O sistema utilizando o seguidor solar funcionou de maneira satisfatória na busca pela posição perpendicular em relação ao sol e, como já era de se esperar, o sistema conseguiu superar os níveis de potência extraídos quando comparado com o sistema fixo, fornecendo assim maior lucratividade ao consumidor que escolher fazer o investimento.

Desta forma, a partir de toda análise feita nos resultados obtidos nos testes realizados, fica evidente que a geração de energia elétrica nas formas alternativas pode melhorar muito sua eficiência. Da mesma forma que a inserção de novos componentes em um sistema convencional de geração de energia elétrica provocou um aumento significativo na produção de potência e, conseqüentemente, no fornecimento de maiores lucros financeiros, a iniciativa pode ser bem aproveitada nos demais tipos de energia renováveis, como por exemplo, na geração de energia elétrica de forma eólica e biomassa.

VI. REFERÊNCIAS

- [1] Chun-sheng, W. et al. Study on Automatic Sun-Tracking Technology in PV Generation. In: International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies, 3., 2008, Nanjing. Proceedings... Nanjing, China: IEEE, 2008. p. 2586-2591.
- [2] Marinescu, D.; Marinescu, C. Control Optimizing Algorithm for Soft Sun-Trackers. In: IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics, 2006, Cluj-Napoca. Proceedings... Cluj-Napoca, Romênia: IEEE, 2006. v. 1, p. 54-57.
- [3] Oliveira, M.; M. Análise do Desempenho de um Gerador Fotovoltaico com Seguidor Solar Azimutal, 2008, 138 F. Dissertação para obtenção do Título de Mestre em Engenharia - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, setembro de 2008.
- [4] Teodorescu, R.; Lisesse, M.; Rodriguez, P. "Grid Converters for Photovoltaic and Wind Power Systems". 1. ed., Wiley – IEEE, 2011.
- [5] Trevelin, F.; C. Estudo Comparativo entre Métodos de Rastreamento Solar Aplicados a Sistemas Fotovoltaicos. 2014, 67F. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Elétrica - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.